

Aerosolinduzierte atmosphärische Extinktion in unterschiedlichen Szenarien

7. Tagung „Optik und Optronik in der Wehrtechnik“

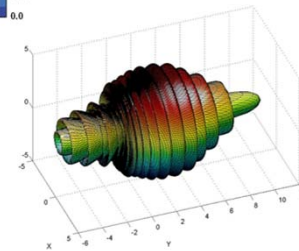
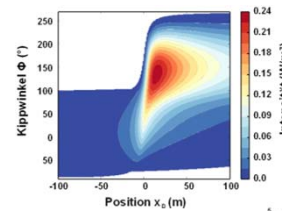
21. – 23. September 2013

Hans-Albert Eckel, José Pérez, Stephan Anders
Institut für Technische Physik, Stuttgart



Gliederung

- (Hochleistungs-) Laseranwendungen im Freiraum
- Atmosphärische Extinktion
 - Auswirkungen
- Aerosole
 - Mie-Streuung an Aerosolen
 - Datenlage
- Szenarien
 - Mitteleuropa (kontinental)
 - Maritimes Umfeld
 - Wüste
- Zusammenfassung / Ausblick



(Hochleistungs-) Laserstrahlung im Freiraum

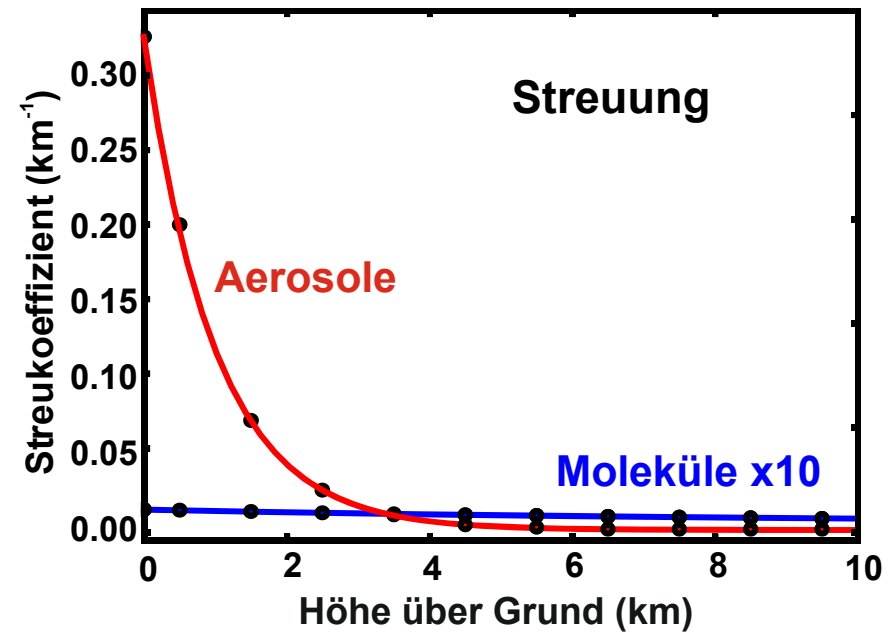
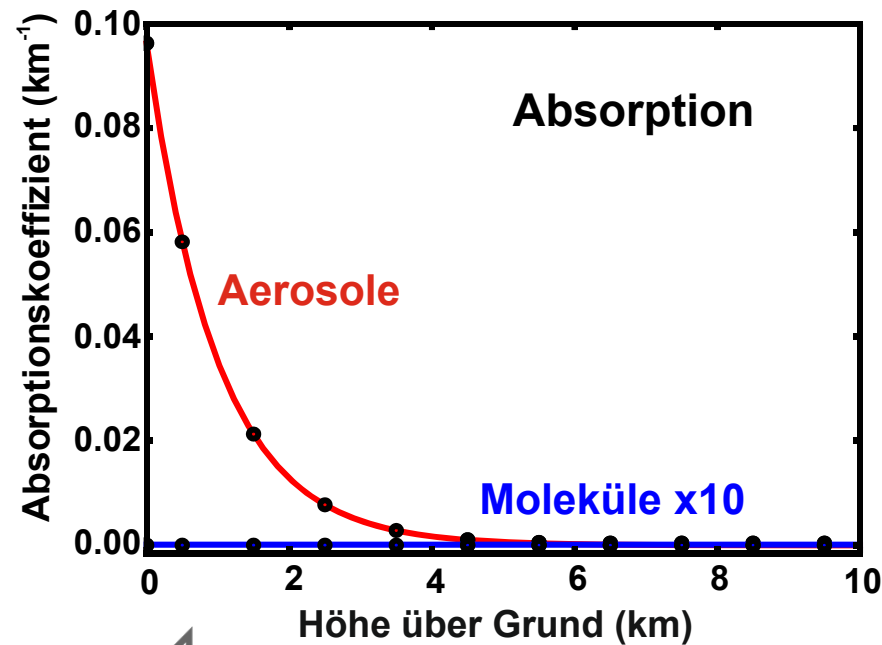
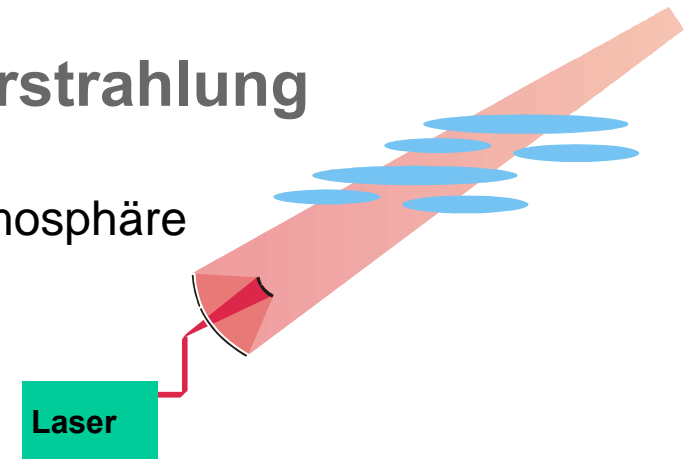


Freiraum-Propagation von Laserstrahlung

Gedämpfte Ausbreitung eines Laserstrahls in der Atmosphäre

- Extinktion durch **Absorption** und Streuung an **Molekülen** und **Aerosolen**

$$\gamma(z) = \sigma_m(z) + \sigma_a(z) + k_m(z) + k_a(z)$$



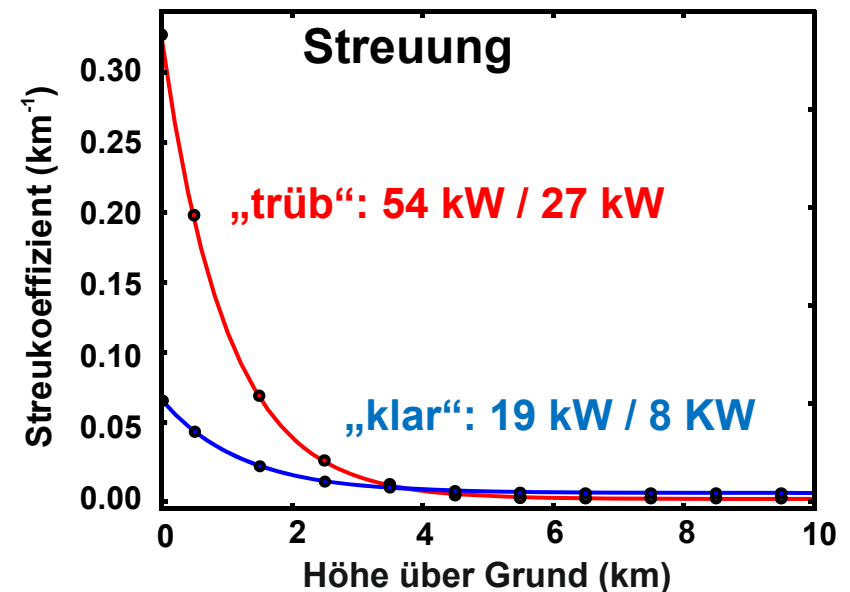
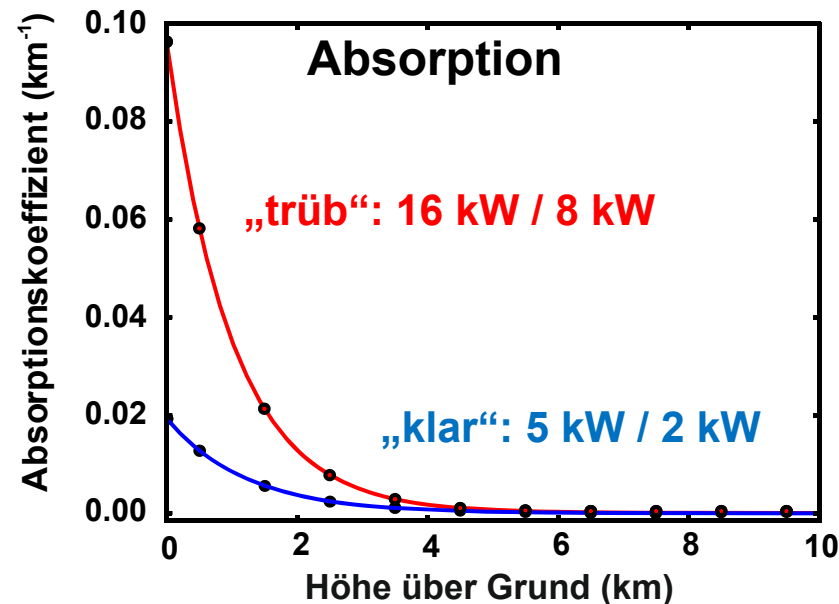
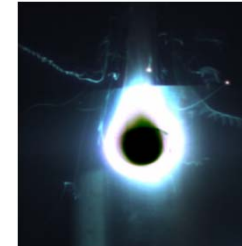
Wirkung

Abgeschwächte Wirkung durch Absorptions- und Streuverluste

Modellierung nach McClatchey (1972):

100 kW Laserstrahl, 1060 nm, Elevation 15° / 90° , Zieldistanz 5 km

„trüb“ \triangleq Normsichtweite 5 km; „klar“ \triangleq Normsichtweite 23 km



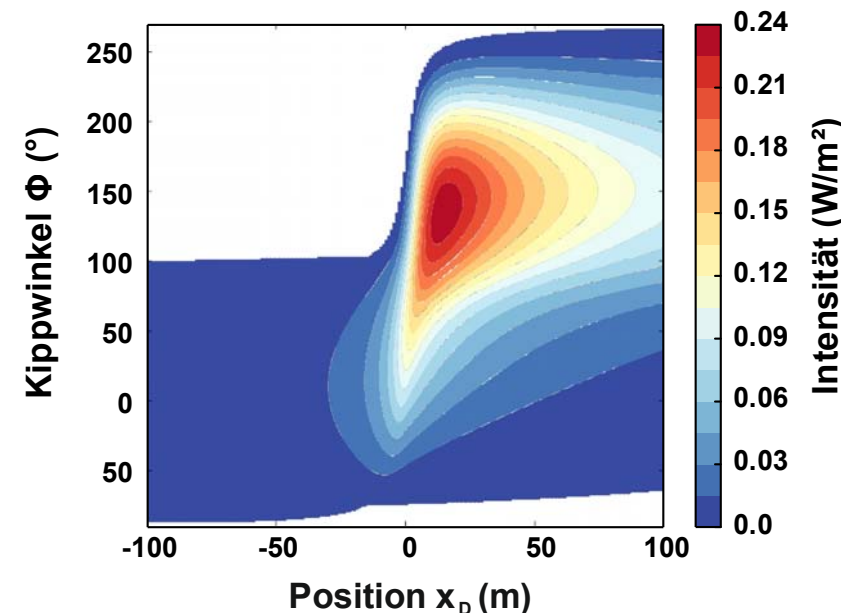
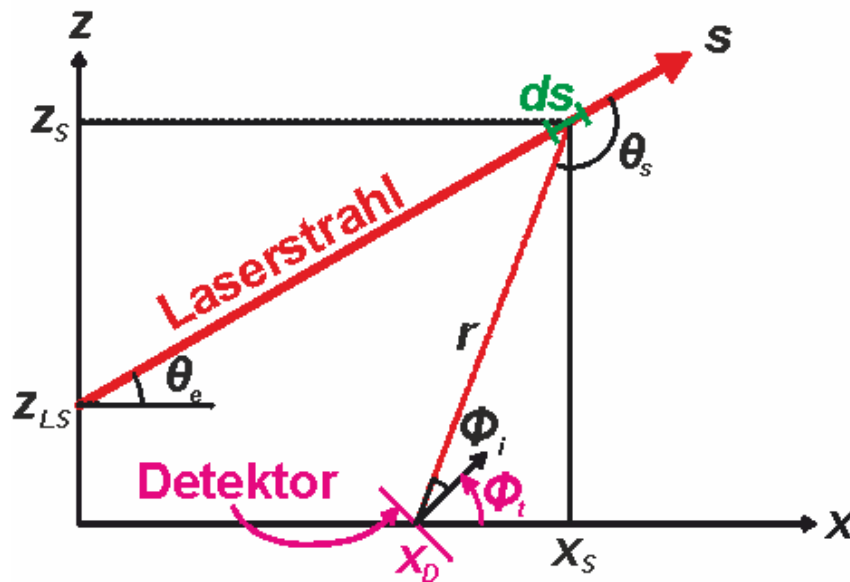
Modellierung und Datenbasis verfügbar!



Betriebssicherheit

Gefährdung durch Streustrahlung

$$I = K \cdot \int ds \cdot \beta(\theta_s(s), z) \cdot \frac{P_0}{r(s)^2} \cdot T(s) \cdot \cos(\phi_i(s))$$



Qualifizierte Modellierung auf Grund lückenhafter Datenbasis schwierig!



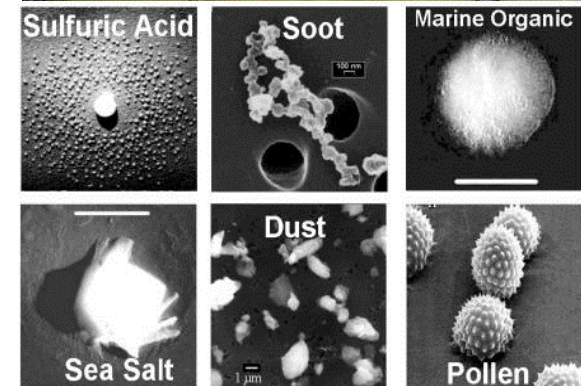
Aerosole

Aerosole haben stärksten Einfluss auf Extinktion (Absorption + Streuung)

- Kategorien
 - Nebel (Wasser)
 - Mineralstaub
 - Seesalz
 - Asche
 - Pollen

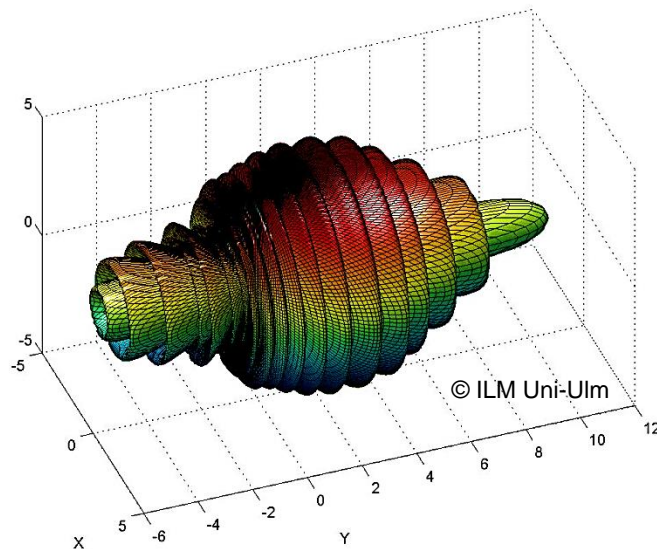
„kritische“ Aerosoleigenschaften:

- Größenverteilung?
- Konzentration / Dichte?
- Brechungsindex?
- Höhenverteilung?



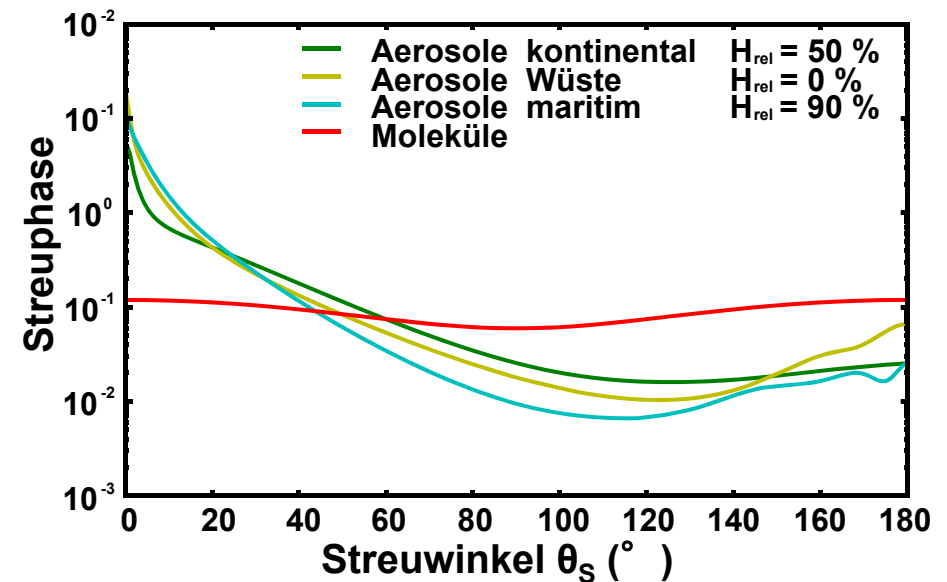
Mie-Streuung an Aerosolen

Mie: Streuung ebener elektromag. Wellen an sphärischen Teilchen



Mie-Streuung von rotem Licht an einem sphärischen Partikel mit 2 µm Durchmesser.

Streuphasen für typische Aerosolverteilungen



Streuung wird bestimmt durch:

- **Streuphase** = f (Streuwinkel, Brechungsindex $\in \mathbb{C}$, Teilchengrößen)
- **Streuquerschnitt**
- **Höhenprofil**

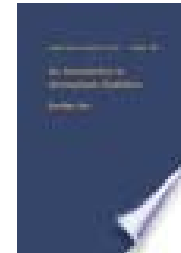


Datenlage „Aerosole“

- McClatchey

R. A. McClatchey et al, Optical Properties of the Atmosphere (Third Edition), Air Force Cambridge Research Laboratories (1972)

- vollständigste öffentlich zugängliche Datenbasis (kontinentales Klima; 5 bzw. 23 km Normsichtweite)
- Streu- und Absorptionskoeffizienten
- Höhenprofile im Kilometerraster; Bodennähe nicht aufgelöst
- Aerosolgrößenverteilung unvollständig
- Streuphasen (400 nm / 2000 nm) nicht nachvollziehbar



- Aeronet

AErosol RObotic NETwork: Netz bodenbasierter Sonnenphotometer, kontinuierliche Messungen der spektralen Aerosol-optischen Dicke

- Messstationen weltweit
- Analyse mit Lidar/Radiometer Inversion Code (LIRIC)
Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung e.V. (TROPOS) Leipzig
- Keine Höhenprofile in Bodennähe



Datenlage „Aerosole“ (2)

- Jaenicke

Ruprecht Jaenicke, Tropospheric Aerosols, in Aerosol-Cloud-Climate-Interactions, 1993

- Aerosol-Typen (polar, maritime, continental, urban, desert)
- Größenverteilung
- Höhenprofile

- OPAC

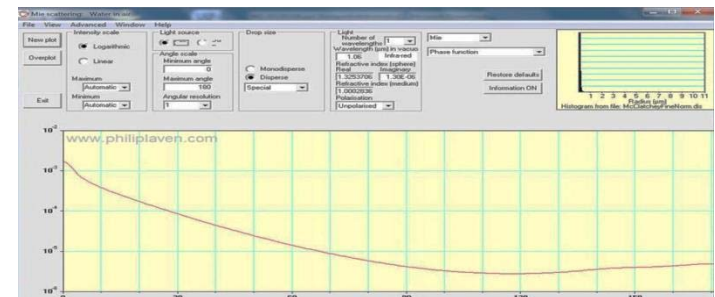
Softwarepaket (**O**ptical **P**roperties of **A**erosols and **C**louds), 1998

- Streu- und Absorptionskoeffizienten
- Höhenprofile
- Aerosolgrößenverteilung
- Streuphasen

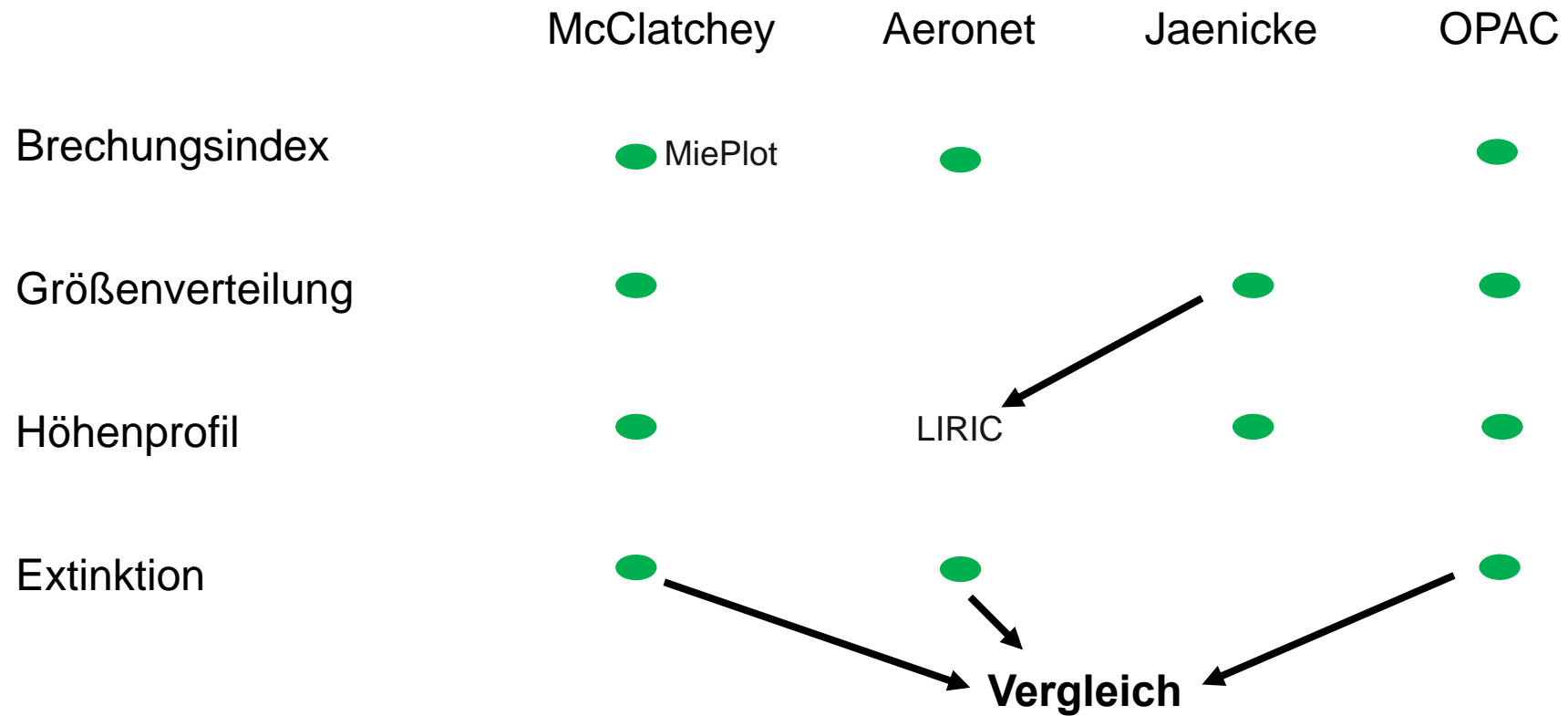
- MiePlot

Software von Philip Laven

- Streuphasen (Aerosole / Aerosolverteilungen)



„Datenfusion“

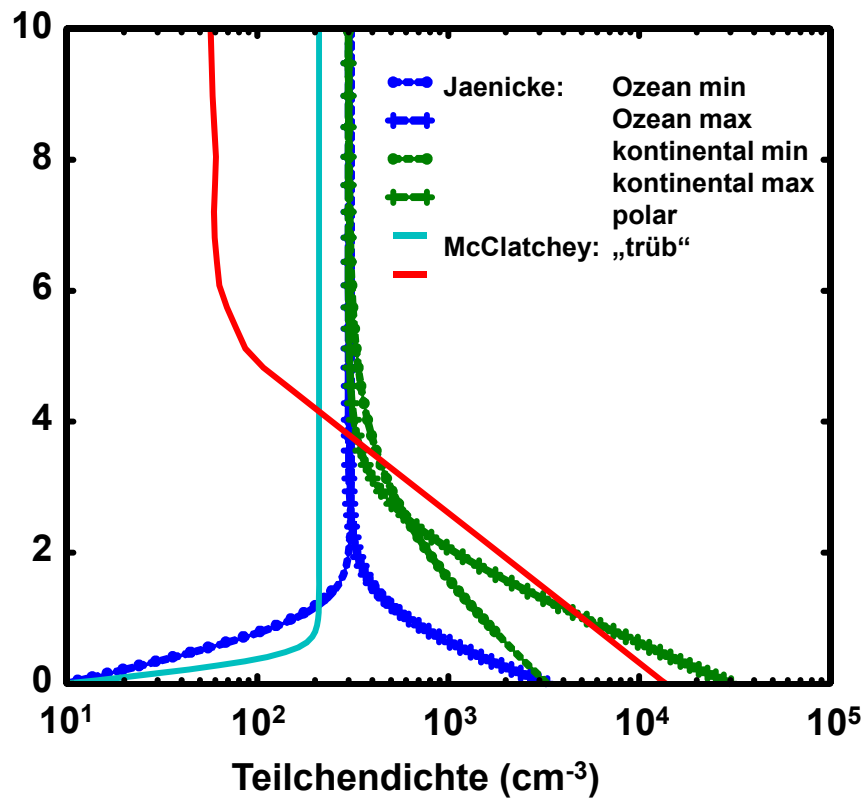


Ziel: Bestimmung der „Streuung“ in Abhängigkeit der Extinktion (Sichtweite) für unterschiedliche Szenarien

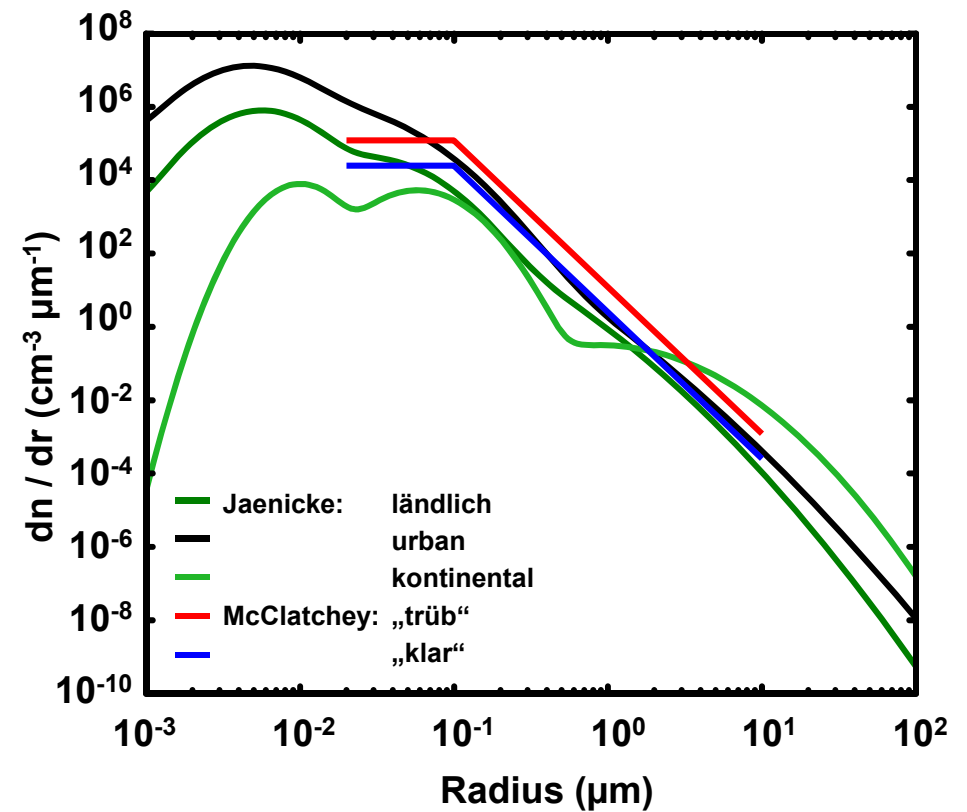


Vergleich Datenbasis

Teilchendichten



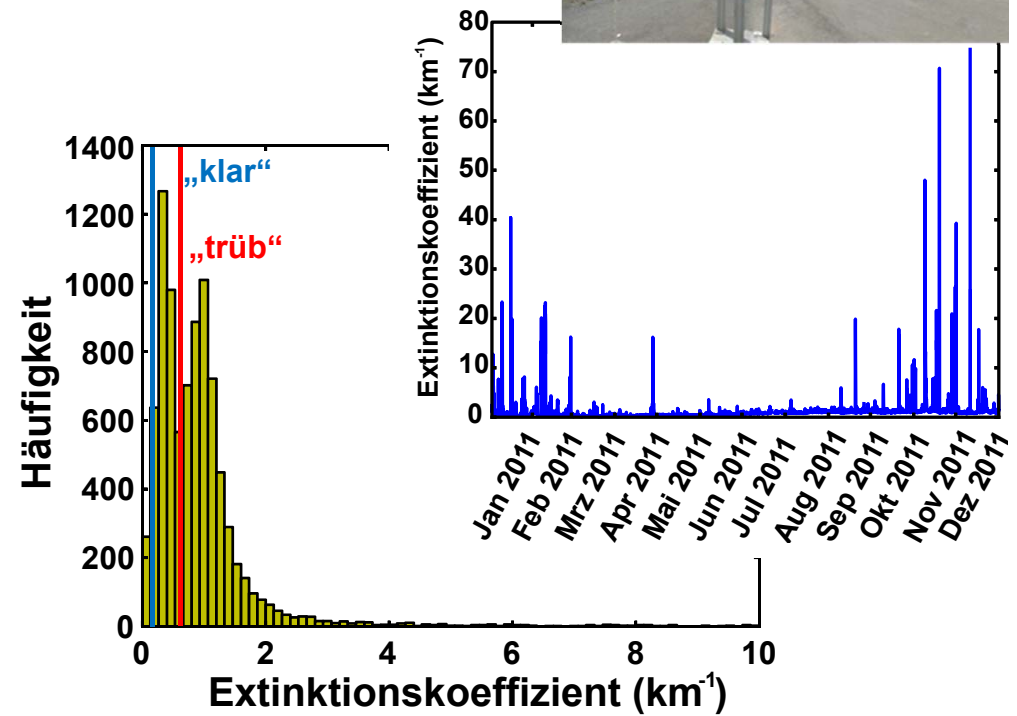
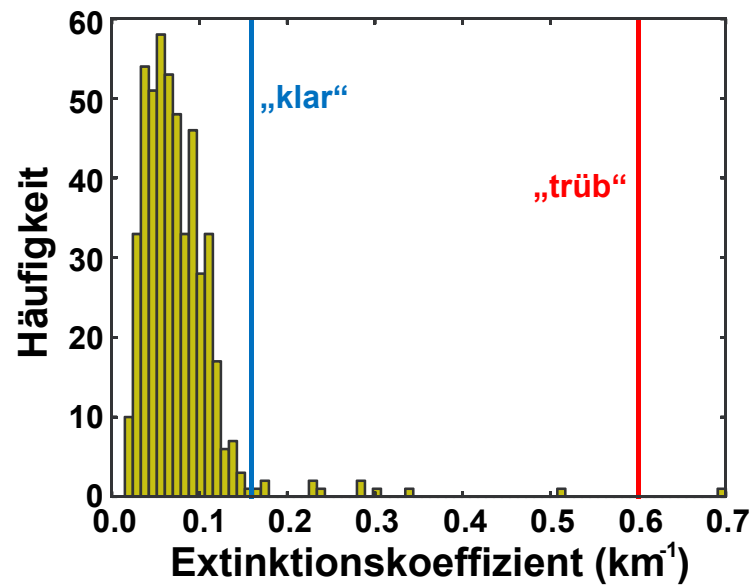
Größenverteilung



Messdaten

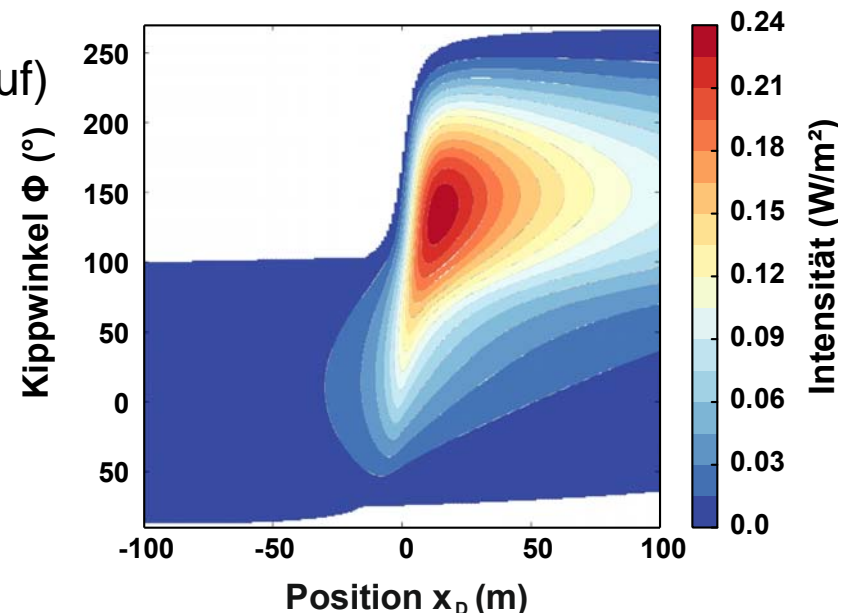
Freistrahlstrecke des DLR Lampoldshausen

Aeronet Leipzig



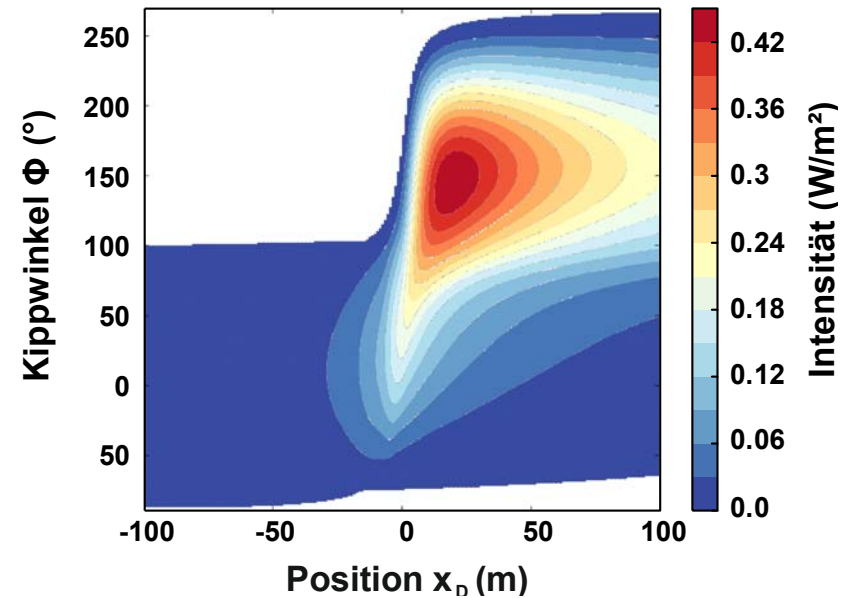
Mitteleuropa (kontinental)

- Aerosole
 - Wasser
 - wasserlösliche Aerosole
 - Staub
 - mittlere Luftfeuchtigkeit
- Messdaten (Extinktion)
 - Lampoldshausen (Jahresverlauf)
 - Leipzig
- Modellierung der Streustrahlung



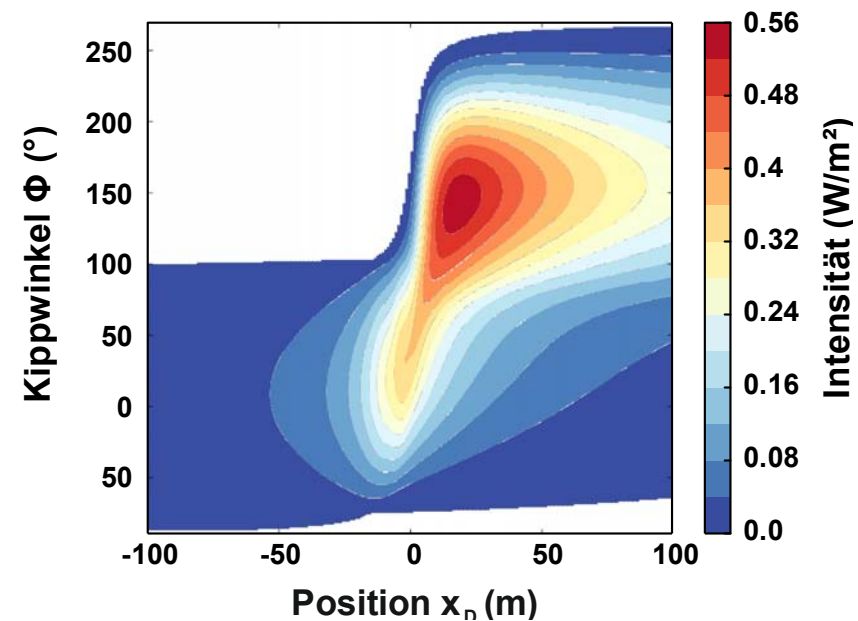
Maritimes Umfeld

- Aerosole
 - Seewasser
 - Meersalz (feucht)
 - hohe Luftfeuchtigkeit
- hohe Massenkonzentration in unteren Schichten
- erhöhte Streuintensitäten



Wüste

- Aerosole
 - Sand (trocken)
 - geringe Luftfeuchtigkeit
- hohe Massenkonzentration in unteren Schichten
- große Partikel
- starke Abhängigkeit von Wind
- bei gleicher Normsichtweite deutlich höhere Streuintensität am Boden, starke Rückwärtsstreuung



Zusammenfassung

- Wachsende Zahl von Laseranwendungen im Freiraum
- Aerosole dominieren die atmosphärische Extinktion
 - a) Reduzierte Wirkung am Ziel
 - b) Streustrahlung
- Datenbasis zur umfassenden Aerosol-Modellierung noch immer lückenhaft
- Vergleich und „Fusion“ unterschiedlicher Modelle / Datensätze schwierig
- Datenlücken insbesondere für bodennahe Luftschichten
- Gefährdung durch Streustrahlung
 - unkritisch bei guten Sichtweiten und $P_{\text{Laser}} < 100 \text{ kW}$
 - zu beachten bei sehr hohen Leistungen / gepulsten Lasern
- erhöhte Streustrahlung im maritimen Umfeld / Wüste



Ausblick

- Weiterführung der Arbeiten zu einer umfassenden Aerosol-Modellierung in unterschiedlichen Szenarien
- Wellenlängenabhängigkeit
- Auswertung weiterer Datenquellen / Schließung von Datenlücken
- Direkte Messung der Streustrahlung eines Hochleistungslaserstrahls bei unterschiedlichen Wetterbedingungen



Fragen?

